جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌پنجم، بهار ۱۳۹۲

صص ۸۹-۷۳

تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی شهرستان یاسوج
(مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۰ اسفند ۱۳۸۹)

دکتر برومند صلاحی[۱]- دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مهدی عالی‌جهان- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۵/۱

چکیده

بارش‌های سنگین، همه ساله در ایران و جهان خسارت‌های شدید جانی و مالی را به بار می‌آورند. پژوهش حاضر، به منظور بررسی سینوپتیک بارش سنگین ۹۹/۵ میلی‌متری یاسوج در روز ۲۰ اسفند سال ۱۳۸۹ به انجام رسیده است. این پژوهش، با دیدگاه محیطی به گردش جوّ صورت گرفته که در آن، ابتدا مقدار بارش رخ داده، توسط ایستگاه‌های زمینی شناسایی شده و سپس با دریافت داده‌های سطوح فوقانی جو و تحلیل آنها، علل ریزش این بارش سنگین مشخص گردید. نقشه‌های مورد استفاده در این پژوهش، نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، ضخامت، جت استریم، تاوایی، پیچانه، وزش رطوبتی و امگا بوده‌اند. تحلیل نقشه‌های جوّی نشان دادند که در زمان وقوع بارش سنگین مذکور، پرفشارهای قوی بر روی غرب و مرکز چین، شمال شرقی پاکستان و سیبری مستقر شده و با کم‌فشارهای واقع بر روی سودان، جنوب شرق آسیا و ایسلند شیو شدید پیدا کرده که این اختلاف فشار شدید، باعث ناپایداری هوا شده است. در سطوح فوقانی جوّ، تشکیل یک بلوکینگ امگایی شکل بر روی سیبری و قرار داشتن ایران در جنوب شرق آن که محل حداکثر جریان چرخندی می‌باشد، بر شدت ناپایداری‌ها افزوده است. در زمان رخداد بارش سنگین یاسوج، رودباد جبهه قطبی بسیار بزرگی با ضخامت زیاد بر روی ایران استقرار داشته و ضخامت جوّ نیزبر روی منطقه مورد مطالعه، زیاد بوده است. در تمامی ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مقدار پیچانه نیز منفی بوده که سبب ایجاد شرایط کژ فشاری شدیدی شده است. حرکات قائم هوا در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ هکتوپاسکال در بخش‌های جنوب و جنوب غربی منفی بوده و ضمن تقویت همگرایی و صعود هوا، با تغذیه‌ی رطوبتی مدیترانه، دریای سرخ و خلیج فارس، مقدار رطوبت لازم برای تولید بارش سنگین را فراهم نموده است.

کلید واژه‌ها: تحلیل سینوپتیک، مخاطره اقلیمی، بارش سنگین، یاسوج.

---

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۴۴۵۱۵۹۲۲

Email: bromand416@yahoo.com

مقدمه

بارش نه تنها در زندگی بشر، بلکه در زندگی گیاهان و جانوران از ارزش حیاتی برخوردار بوده و جـزء جدانشـدنی طبیعت محسوب می‌گردد. این پدیده طبیعی ارزشمند، می‌تواند در عین اهمیت، به عنوان یک مخاطره طبیعـی مهـم نیـز قلمداد شده و برای زندگی بشر، گیاهان و جانوران خطر آفرین باشد. سیل رویدادی ناگهانی است که منشاء آن بارنـدگی بیش از حد می‌باشد که همه ساله در ایران و جهان خسارت‌های شدید جانی و مالی را به بار می‌آورد. در سال‌های اخیـر و به دنبال سوء استفاده‌های انسان از طبیعت و بر هم زدن پتانسیل‌های محیطـی، ایـن رخـداد بـه یکـی از بـزرگ‌تـرین مخاطره‌های محیطی ایران تبدیل شده است.

مطالعات زیادی در ارتباط با تحلیل سینوپتیک رخداد بارش‌های سنگین در سطح جهان به عمل آمده است. تربلـه و همکاران (٢٠٠٤)، ارتباط الگوهای سینوپتیک با بارش‌هـای جنـوب اسـترالیا را بررسـی نمودنـد. سـایبرت و همکـاران (٢٠٠٥)، الگوهای سینوپتیک و منطقه‌ای بارش‌های سنگین استرالیا مطالعه کردند. نوربیاتو و همکـاران (٢٠٠٧)، فراوانـی منطقه‌ای بارش‌هـای فـرین آلـپ شـرقی ایتالیـا و سـیلاب شـدید ٢٩ آگوسـت ٢٠٠٣ و بوچـوا و همکـاران (٢٠٠٨)، تغییرپذیری روند رخداد بارش‌های فرین بلغارستان را تحلیل نمودند. رابرت توادوز (٢٠٠٩)، بـا اسـتفاده از طبقـه‌بنـدی انواع جریان گردشی جو در جنوب لهستان، به تحلیل بارش سنگین آن منطقه پرداخـت. چربـی و الحتروشـی (٢٠٠٩)، دلایل سینوپتیک تغییرات بارش زمستانه عمان را مورد بررسی قرار دادند. ماتسـرانگلو و همکـاران (٢٠١٠)، بـه مطالعـه مکانیزم توسعه جریان همرفتی در رخداد بارش‌های سنگین طولانی مدت جنوب شرق ایتالیا پرداختند. روند بارش‌هـای فرین مرتبط با الگوهای سینوپتیک در جنوب شبه جزیره ایبری نیز توسط هیـدالگو –مـونز و همکـاران (٢٠١١) مـورد واکاوی قرار گرفت.

در ایران نیز تحقیقات زیادی در رابطه با تجزیه و تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین به عمل آمـده اسـت کـه از آن جمله می‌توان به تحلیل دلایل سینوپتیک وقوع سیلاب در ساحل جنوبی دریای خزر توسط مرادی (١٣٨٥) اشـاره کـرد. وی به این نتیجه رسید که هرگاه در ساحل جنوبی دریای خزر و در سطح زمین، پشته پرفشار کوتـاه ناشـی از گسـترش هوای سرد در منطقه استقرار یابد و در ترازهای میانی و بالایی جو نیز ناوه وجود داشته باشد، شـرایط لازم بـرای وقـوع بارش‌های شدید در منطقه مهیا می‌شود. صمدی (١٣٨٦) نیز به تحلیل سینوپتیک الگوهای بارشی منجـر بـه سـیل پـاییز سال ١٣٨٢ سواحل جنوبی دریای خزر پرداخت و به این نتیجه رسید که وجود ناوه عمیق در شمال شرق اروپا و امتـداد محور آن بر روی دریای خزر و حضور آنتی سیکلون مهاجر با کشیدگی شمال غرب –جنوب در غرب ناوه و سیکلون جبهه‌ای در شرق آن و هم‌جهت شدن حرکت آنتی سیکلون با حرکت سیکلونی جلو نـاوه و از سـویی دیگـر، حرکـت نصف‌النهاری قابل ملاحظه جریان سطح میانی جو، موجب تقویت تاوایی شده و همزمانی عوامل مذکور و نیـز تشـدید

حداکثر اختلاف حرارتی بین هوای سرد قطبی و سطح آب دریا در فصل پاییز در منطقه، باعث ریزش بارش‌های شـدید و سیل آسا شده‌اند.

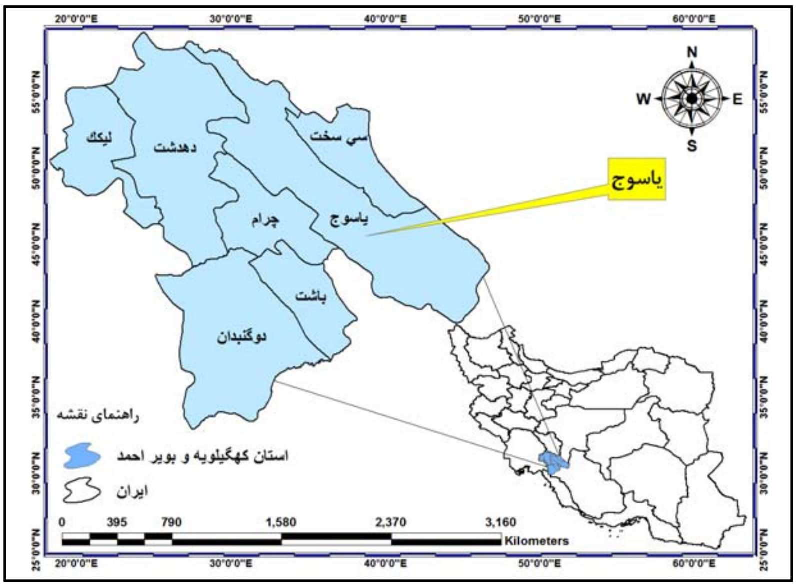
امیدوار (۱۳۸۷) معتقد است که توقف سیستم‌های باران زا در صورت کسب رطوبت از منابع آبی جنـوبی کشـور و مدیترانه می‌تواند به وقوع سیل در یزد منجر شود. رضایی (۱۳۸۸) پس از بررسی نقشه‌های سـینوپتیک ترازهـای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، ۳ الگوی سیل‌زا در ماسوله را شناسایی و به این نتیجه رسید که سامانه‌های چرخنـدی و واچرخنـدی بر حسب ویژگی و یا توقف خود بر روی آن منطقه، از یک تا حداکثر سه روز پی در پی ایجاد سیل کرده اند. محمـدی و مسعودیان (۱۳۸۹) به تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین ایران در آبان ماه ۱۳۷۳ پرداختند. آنها بعد از تحلیـل نقشـه-های فشار تراز دریا به این نتیجه رسیدند که الگوی پرفشار اروپا –کم فشار عراق در رویداد این بارش مؤثر بوده اسـت. به عقیده آن‌ها، به دنبال ورود زبانه‌ای از پرفشار اروپا و دریای سیاه از شمال غرب کشور و شیو شـدید آن بـا کـم‌فشـار عراق و ادغام رودبادهای جنب حاره‌ای و جبهه قطبی بر روی عراق، وجود فرود بر روی قبرس و تغذیه رطوبتی خلـیج فارس، دریای سرخ، مدیترانه و دریای سیاه در ترازهای بالا، این بارش سنگین اتفاق افتاده است.

مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) به بررسی نقش رودبادها در رخداد بارش‌های سنگین پرداخته و علت ریزش سنگین بارش‌ها را کشیده شدن رودبادها تا سطح ٦۰۰ هکتوپاسـکال دانسـتند. پرنـده خـوزانی و لشـگری (۱۳۸۹)، در بررسـی سینوپتیک سیستم‌های سیل‌زا در جنوب ایران، عامل این سیل را در نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی، ادغام مرکز کم‌فشار سودان با مرکز فشار مدیترانـه‌ای و تبـدیل آن بـه یـک سیسـتم دینامیک یا ترمودینامیک دانسته‌اند. کرمی و همکاران (۱۳۸۹)، با بررسی نقشـه‌هـای سـینوپتیک تـراز دریـا و تـراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، علت وقوع سیل پلدختر را تقویت سامانه سیبری و گسترش آن بر روی آب‌های گرم و انتقال رطوبت بـه داخل ایران و عربستان تا آخرین ساعات بارش و نیز ریزش هوای سرد واچرخنـد آزور بـرای پویـایی و انتقـال سـامانه سودانی به عرض‌های بالاتر و ادغام آن با سامانه‌ی مدیترانه‌ای و ریزش هوای سرد عرض‌های بالا توسط کم‌فشار ایسلند و ادغام آن با سامانه ادغامی دانسته‌اند.

گندمکار (۱۳۸۹) به این نتیجه رسید که ورود سامانه‌های سودانی از جنوب و جنوب غرب، علت ریزش‌های شدید نواحی جنوبی استان بوشهر است که اگر با سامانه مدیترانه‌ای همراه باشد شدیدترین بارش‌ها را تولید خواهد کرد. نتیجـه کار یار احمدی و مریانجی (۱۳۹۰) نشان دادند که در روز چهاردهم آبان ۱۳۸۳، سامانه کم‌فشـار در سـطح زمـین، نـاوه ترازهای میانی جو و فرارفت هوای سرد، موجب بارش سنگین جنوب غرب خزر و غـرب ایـران شـده اسـت. منطقـه یاسوج یکی از مناطق بارش‌خیز ایران محسوب می‌شود که همه ساله، بارش‌های سنگین و نیمه‌سـنگین زیـادی در ایـن منطقه گزارش می‌شود. در این پژوهش سعی شده است تا با تحلیل اطلاعات سـطوح فوقـانی جـو در ترازهـای سـطح دریا، ۲۵۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ٦۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال جوّ، علل ریزش بارش سـنگین مـورخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۰ یاسوج مشخص گردد.

منطقه مورد مطالعه

شهر یاسوج در موقع جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳٦ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این شهر از نظر تقسیمات سیاسی کشور مرکز استان کهگیلویه و بویر احمد و مرکز شهرستان بویر احمد، در بخش مرکزی، دهستان سررود شمالی و از نظر طبیعی بین رودخانه های بشار در جنوب و مهریان در غرب و کوه های دنا در شمال و شرق محصور شده است. حوزه شهری یاسوج در پهنه کوهستانی زاگرس مرتفع و چین خورده واقع شده است. این محدوده بوسیله پهنه های توپوگرافی پیچیده و پرشیب احاطه شده است (صفائی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰: ۱٤۸). این شهر به دلیل موقعیت جغرافیایی خود، همواره در مسیر ورود توده‌های هوایی غربی و جنوب غربی بوده که به دلیل این شرایط، همه ساله بارش‌های سنگین و نیمه سنگین در این ناحیه به وفور رخ می‌دهد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های سطوح فوقانی جو جهت تحلیل بارش سنگین یاسوج استفاده شده است. داده‌های بارش ایستگاه زمینی مورد استفاده در این پژوهش، مربوط به داده‌های روزانه ایستگاه یاسوج در استان کهکیلویه و بویراحمد می‌باشد. بارش مورد تحلیل در این پژوهش، از مورخ ۸۹/۱۲/۱۹ در یاسوج شروع شده و تا ۸۹/۱۲/۲۳ ادامه داشته است. بیشترین مقدار بارش رخ داده در مورخ ۸۹/۱۲/۲۰ بوده است که این پژوهش نیز بر اساس بارش ۹۹/۵ میلی‌متری رخ داده در همان روز (برابر با ۱۱ مارس ۲۰۱۱ میلادی) انجام گرفته است.

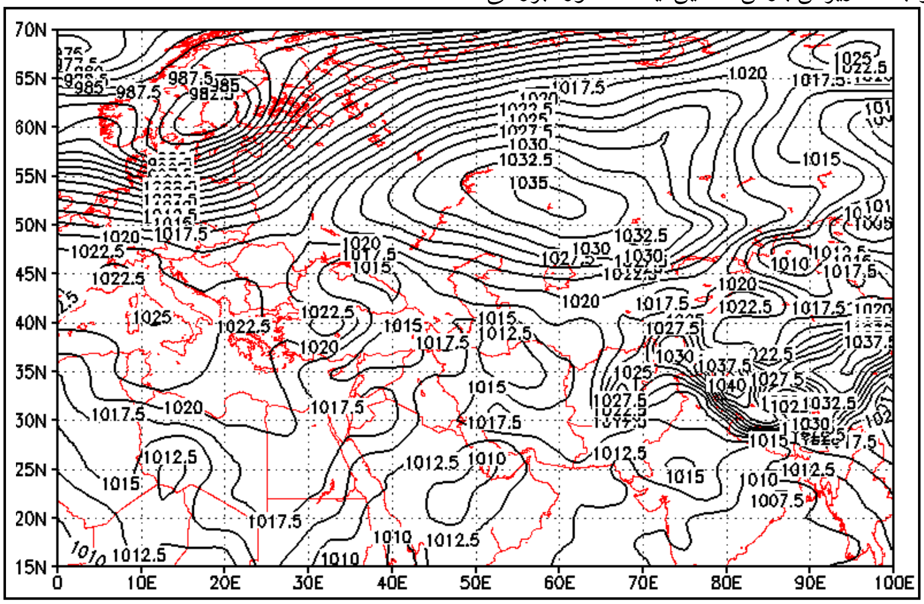
داده‌های استفاده شده سطوح فوقانی جو جهت تحلیل بارش ۹۹/۵ میلی‌متری یاسوج عبـارت از داده‌هـای بازکـاوی شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، باد مداری، باد نصف‌النهاری، رطوبت ویژه، رطوبت نسـبی و فشـار سـطح دریـا می‌باشند که از وب سایت متعلق بـه مرکـز ملـی پـیش‌بینـی محیطـی(NCEP) (www.esrl.noaa.gov/psd/ data/ gridded/ data. ncep. reanalisishttp://) اخذ گردیده‌اند. پژوهش حاضر، به روش محیطی به گردشـی انجـام شـده است. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های سطوح فوقانی جو، نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، ضخامت، جت استریم، تاوایی، پیچانه، وزش رطوبتی و حرکت قائم هوا برای کشور ترسیم گردید. ابعاد ٤ گانه ژئوفیزیکی موجود در نرم افزار گردس جهت ترسیم و تحلیل این نقشه‌ها تنظیم گردید. به جزء نقشه‌های فشار سطح دریـا کـه تـک تـرازه می‌باشد برای سایر فراسنج‌های جوی از ترازهای ۵۰۰، ٦۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد و نقشه‌ها در این ترازها مورد تحلیل قرار گرفتند. البته به استثنای نقشه‌های رودبادها که در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال مورد تحلیل قرار گرفتند، برای انجام تحلیل، تمامی نقشه‌ها در محدوده عرض جغرافیایی ۷۰ – ۱۵ و طول جغرافیایی ۱۰۰– ۰ درجه طراحی شده و با توجه به اینکه وقوع بارش در اوایل صبح اتفاق افتاده است، زمـان مـورد نظـر جهـت ترسـیم نقشه‌ها، ساعت ۰۰ زولو یا ۳:۳۰ محلی انتخاب شده است.

یافته‌های پژوهش

وضعیت فشار تراز سطح دریا

نقشه تراز سطح دریا برای ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که الگوی غالب فشار در این روز بارشـی، استقرار پرفشارهای حرارتی بر روی مرکز و غرب چین، شمال شرق پاکستان و سیبری (هر کدام به ترتیب با فشار مرکزی ۱۰٤۰، ۱۰۲۷ و ۱۰۳۵ هکتوپاسکال) و کم‌فشارهای حرارتی بر روی ایسلند، جنوب شرق هنـد و سـودان (هـر کـدام بـه ترتیب با فشارهایی برابر با ۹۸۲/۵، ۱۰۰۷/۵ و ۱۰۰۷/۵ هکتوپاسکال) می‌باشد. در نتیجه این الگو، یک شیب فشـار بسـیار شدید عمودی بین پرفشارهای حرارتی مستقر بر روی چین و پاکستان و زبانه‌های کشیده شده از آنهـا بـه داخـل ایـران و پرفشار حرارتی سیبری با کم‌فشارهای مستقر بر روی سودان و جنوب شرق هند و زبانه‌های آنها (که تا حوالی دریای عمان و خلیج فارس کشیده شده) بوجود آمده است. این گرادیان شدید فشاریِ ایجاد شده، باعث شدّت یـافتن سـرعت بـاد در حد فاصل بین مراکز چرخندها و واچرخندها و تقویت جریان همگرایی بین گردش چرخندها و واچرخندها شده اسـت. این گرادیان بسیار شدید، باعث انتقال رطوبت از منابع رطوبتی جنوبی به داخل خاک ایران شده و فرایند تشدید رطوبـت، بارش سنگین را ایجاد نموده است. وجود جریان‌های همگرایی شدید در ناحیه کم‌فشارها باعث تقویت حرکات واگرایـی در سطوح فوقانی وردسپهر شده و با تقویت صعودهای دینامیکی، بر شدت ناپایداری ها افـزوده اسـت. از طرفـی، شـیب فشاری تقریباً مداریِ ایجاد شده بین کم‌فشار واقع بر روی ایسلند با پرفشارهای مستقر بـر روی چـین و شـمال پاکسـتان، باعث شدت یافتن جریان همگرایی مابین چرخند و واچرخندها شده که خود، باعث ایجاد جریـان‌هـای شـمال غربـی –

جنوب شرقی شده و انتقال رطوبت از منابع رطوبتی غربی و شمال غربی به داخل ایران را به دنبال داشته و با ایجاد صعود شدید هوا باعث ریزش بارش سنگین ایستگاه مورد بررسی شده است.

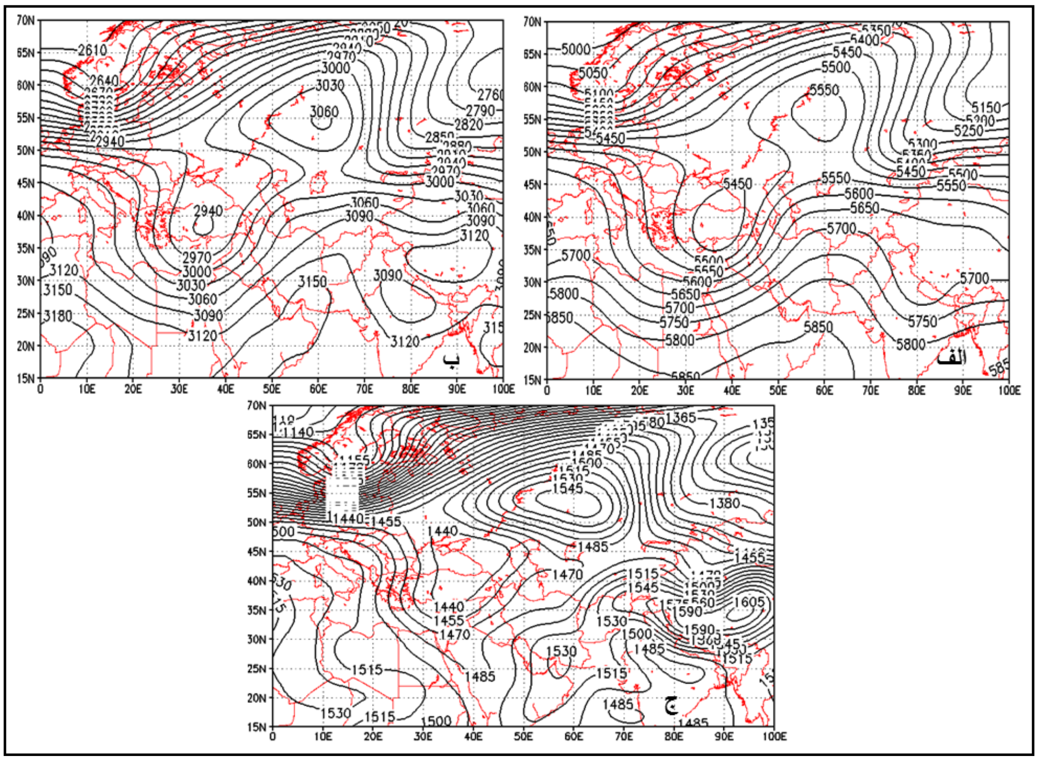


شکل ۲ نقشه فشار تراز سطح دریا ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند ۱۳۸۹

وضعیت ارتفاع ژئو پتانسیل

در بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ ، ٦۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، اولین پدیده‌ای که جلب توجه می‌نماید رخداد پدیده بلوکینگ امگا بر روی سیبری می‌باشد که آب و هوای ایران را تحت تأثیر خود قرارداده است. با توجه به خاصیت بلوکینگ نوع امگایی شکل که در قسمت‌های جنوب شرقی و جنوب غربی خود، دارای ناوه می‌باشند؛ لذا حرکت چرخندی و واگرایی شدید در این قسمت‌ها حاکم بوده و به واسطه همین شرایط چرخندی در ناوه، باعث ایجاد آسمانی ابرآلود، بارانی و توفانی در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب شرقی خود می‌شوند. شکل‌گیری چنین بلوکینگی در این روز بارشی و قرار داشتن ایران در قسمت جنوب شرق و بخش چرخندی بلوکینگ مربوطه، هوای بیشتر نقاط ایران تحت تأثیر این مکانیزم شدید قرار گرفته و با توجه به تداوم زمانی چند روزه پدیده‌های اقلیمی همراه با بلوکینگ، منطقه‌ی یاسوج شاهد بارش ۵ روزه سنگین و نیمه‌سنگین بوده است. شکل‌گیری ناوه عمیقی که تا شمال شرق آفریقا امتداد داشته و استقرار محور ناوه بر روی دریای مدیترانه و دریای سرخ (که محل حداکثر تاوایی می‌باشد) باعث مکش رطوبتی، ادغام و جذب و حمل آن به سمت شرق ناوه شده و با گسترش شرایط واگرایی شدید و صعود دینامیکی هوا در ورسپهر، آسمانی ابرآلود و بارشی شدید را در قسمت‌های مختلف ایران به ویژه در غرب ایران به دنبال داشته است.

در ترازهای نزدیک سطح زمین (تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال)، از شدت بلوکینگ و ناوه موجود کاسته شـده و فرودهـای ناوه مربوطه (که محل جریان‌های چرخندی و واگرایی شدید بوده و با صعود شدید هوا همراه می باشد) بعد از عبـور از منابع رطوبتی مدیترانه، دریای سرخ و خلیج فارس و مکش رطوبتی این منـاطق و حمـل آن، وارد خـاک ایـران شـده و هوای منقلبی را در این تراز جوی بر روی ایران ایجاد نموده است. استقرار یک منحنی بسته پرارتفاع بر روی تنگه هرمز، با حرکت واچرخندی و جریان همگرایی و فرونشینی شدید خود، باعث تشکیل یک همگرایـی رطـوبتی بـر روی ایـن منطقه شده که این امر، باعث ادغام رطوبت منابع رطوبتی خلیج عمان، دریای عرب و خلیج فارس شده و حمل آنها بـه ایران، سبب تغذیه رطوبتی این بارش سنگین شده و بارش‌های چند روزه را به دنبال داشته است.

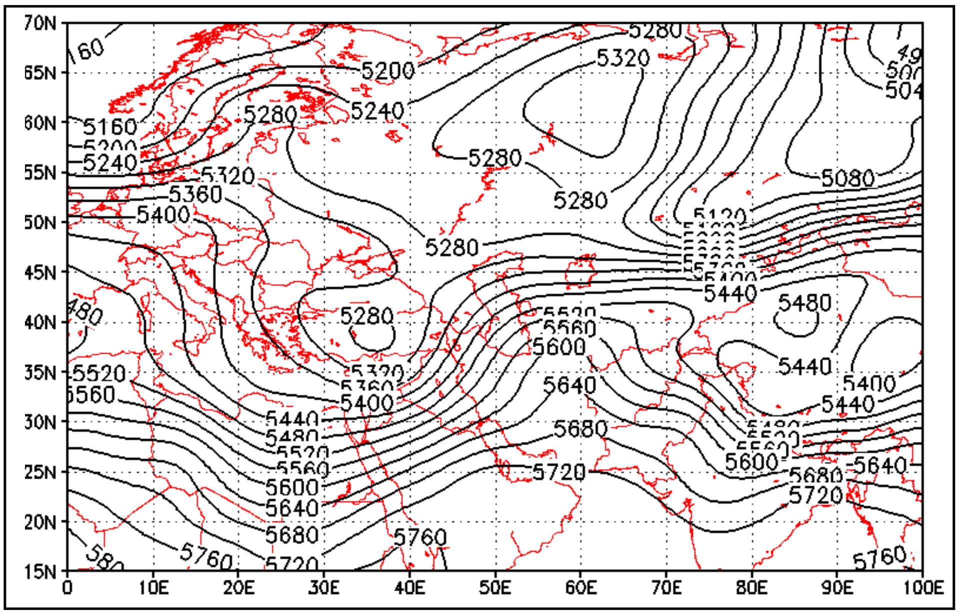


شکل ۳ ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) ترازهای الف: ۵۰۰، ب: ۷۰۰، ج: ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند ۱۳۸۹

وضعیت ضخامت جو

نقشه ضخامت جوّ، حاکی از زیاد بودن ضخامت جوّ در زمان رخداد بارش سنگین بر روی یاسوج بوده که این امـر، حاکمیت جریان‌های گرم بر روی منطقه را نشان می‌دهد. این مسأله، همچنین نشان دهنده تشدید ناپایداری‌های جوّی بر روی منطقه و گسترش شرایط کژفشاری بر روی ایران است که اتمسفر ایران را تحت تأثیر خود قرار داده اسـت. نقشـه ضخامت جوّ، همچنین نشان از وجود یک ناوه عمیق دارد که تا جنوب شرق آفریقا کشیده شده است. با استقرار محـور

ناوه در غرب دریای سرخ، شرایط برای حمل رطوبت آن به سمت ایران توسط فرودهای ناوه مربوطه و ادغام آن با منابع رطوبتی جنوبی ایران مهیا شده است به این صورت که با حرکات پادساعتگرد صورت گرفته در محور ناوه (که دارای بیشترین مقدار چرخندگی مطلق می‌باشد) شرایط را برای صعود هوا و واگرایی شدید در وردسپهر مهیا کرده و با شرایط واگرایی شدید در جلوی ناوه یا در قسمت شرق ناوه با حمل رطوبت دریای سرخ به سطوح فوقانی جوّ، باعث تشکیل آسمانی ابرناک شده و در نهایت، باعث توربولانس در هوا و تشدید شرایط کژفشاری شده و ریزش بارش را در بیشتر نقاط ایران به دنبال داشته است.

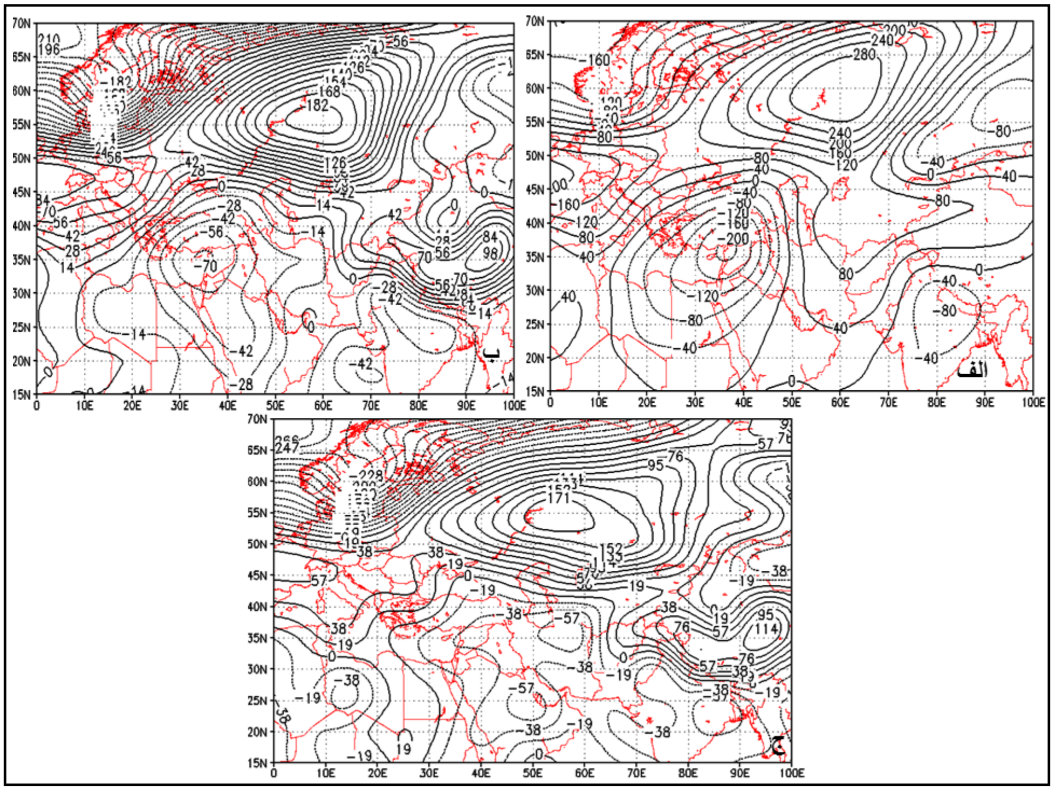


شکل ٤ نقشه ضخامت جوّ (متر) ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند ۱۳۸۹

بررسی نقش پیچانه‌ها

تحلیل نقشه پیچانه‌ها نشان می‌دهد که در ترازهای ۵۰۰، ٦۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، یک مرکز پیچانه بسیار قوی بر روی شرق مدیترانه حاکم است. قدرت هسته مرکزی آن به ترتیب برابر با ۲۰۰-، ١٤۰- و ۱۰۸- ژئوپتانسیل متر بوده و به واسطه این مرکز قوی، منحنی‌هایی از آن شمال غرب و غرب کشور را تحت تأثیر خود قرار داده است. با استقرار منحنی‌های منفی پیچانه بر روی برخی نواحی ایران، شرایط ناپایداری شدیدی بر روی منطقه حاکم شده و با ایجاد تاوایی مثبت بر روی این نواحی، باعث صعود هوا، واگرایی شدید و شرایط کژفشاری شدیدی شده است. در ترازهای نزدیک سطح زمین (ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال)، کل منطقه ایران تحت تأثیر پیچانه منفی قرار گرفته و مقادیر منفی ناهنجاری‌های ارتفاع ژئوپتانسیل بر کل ایران حاکم شده است. با استقرار منفی پیچانه بر روی ایران و حاکمیت جریان پادساعتگرد بر روی منطقه، شرایط از نظر دینامیکی برای صعود هوا فراهم شده است. این حالت، باعث تشدید شرایط

کژفشاری بر روی منطقه شده و هوای منقلبی را برای ایران به ارمغان آورده است که باعث تولید بارش در اکثر نقاط ایـران شده است.

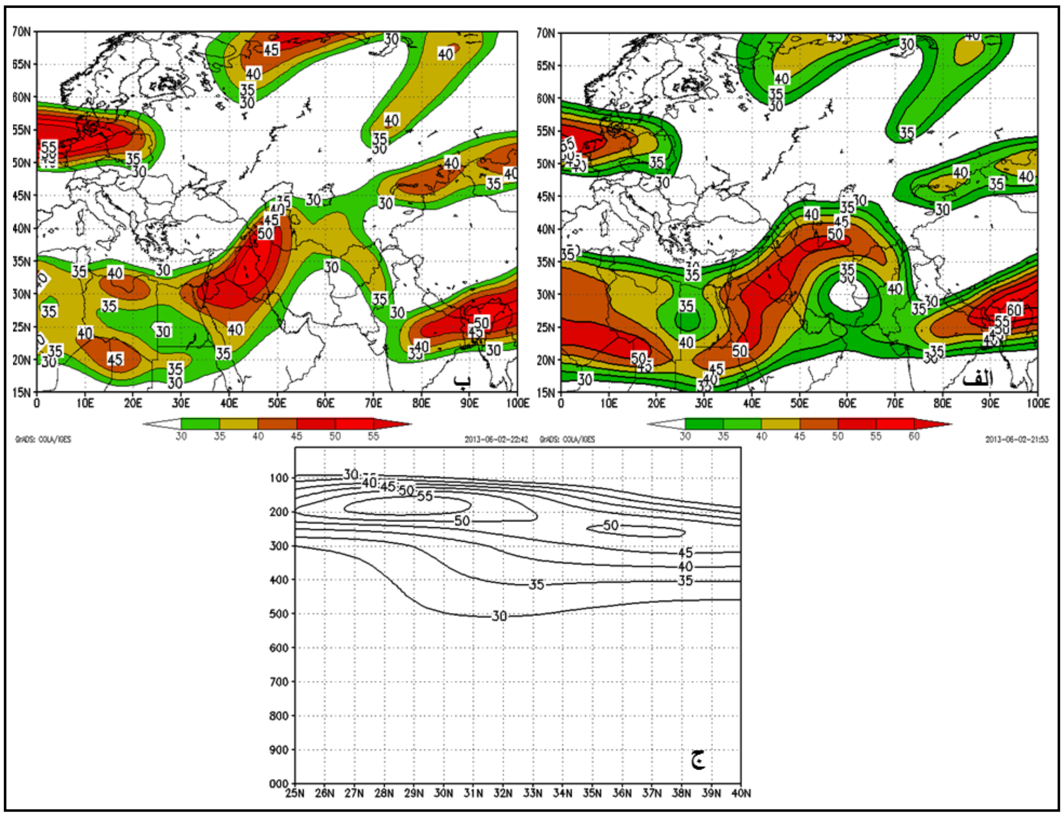


شکل ۵ نقشه پیچانه ترازهای الف: ۵۰۰، ب: ۸۵۰، ج: ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند ۱۳۸۹

وضعیت باد در سطوح فوقانی

در زمان رخداد بارش سنگین یاسوج، در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال، یک رودباد جبهه قطبی کـه بـه صـورت کمربندی کل کره زمین را در بر گرفته و بر روی ایران کشیده شده است. ضخامت رودباد مربوطه بر روی منطقه یاسوج به بیشترین حد خود رسیده و تا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال هم دیده می‌شود. استقرار این رودباد ضخیم، باعـث شـدت یـافتن ناپایداری‌ها و ناهنجاری‌های جوّی شده و بارش سنگین و نیمه‌سنگین در اکثر نقاط ایران و مخصوصا یاسوج را بـه دنبـال داشته است. در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، رودباد جبهه قطبی با سرعت‌های متفاوت از ۳۰ متر بر ثانیه تا ۵۰ متر بـر ثانیـه بـر روی ایران کشیده شده که البته بر روی منطقه یاسوج، سرعت رودباد به ٤٥ متر بر ثانیه می‌رسد. در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز رودباد جبهه قطبیِ مستقر بر روی ایران، اندکی تقلیل پیدا کرده و با رودباد موجود بر روی مغولستان ادغام شـده اسـت. در این وضعیت، سرعت رودباد بر روی یاسوج در این تراز به ۳۵ متر بر ثانیه رسیده است. بنابراین، رخداد بارش سـنگین چند روزه یاسوج، با یک رودباد جبهه قطبی بسیار قوی که دور تا دور کره زمین را تحت تأثیر خـود قـرار داده و ایـران و

منطقه مورد مطالعه را هم در بر گرفته همراه بوده است. حاکمیت این رودباد بر روی ایران باعث کنترل هوای سطح زمین و تشدید و تقویت ناپایداری و آشوب‌های جوّی و تشکیل سیکلون بر روی منطقه شده است. حرکت واگرایانه شدید رودباد مذکور که با تاوایی مثبت همراه می‌باشد صعود شدید هوا را به دنبال داشته و در نتیجه، باعث شدت یافتن بارش‌ها بر روی ایران شده است.

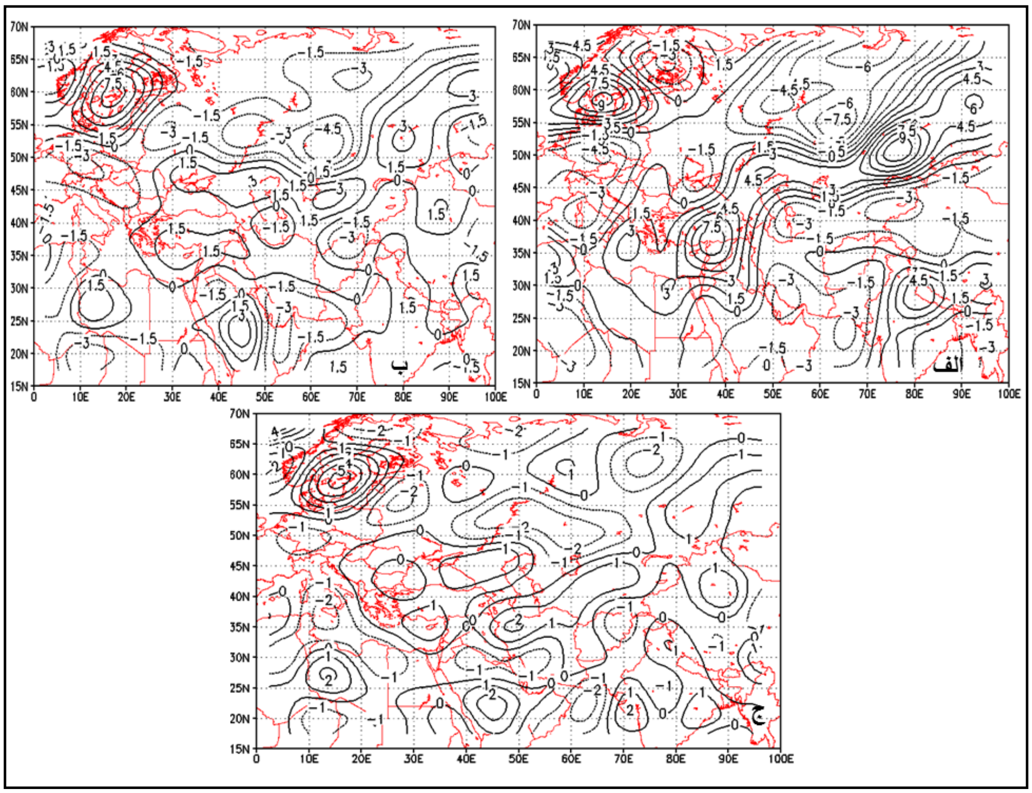


شکل ٦ نقشه رودباد ترازهای الف: ٢٥٠، ب: ٣٠٠ هکتوپاسکال ج: نمودار هاف مولر نشان دهنده ضخامت رودباد ساعت ٣:٣٠ روز ٢٠ اسفند ١٣٨٩

بررسی وضعیت تاوایی

بررسی نقشه‌های تاوایی ترازهای ٥٠٠، ٦٠٠ و ٧٠٠ هکتوپاسکال نشان دهنده جریان منفی تاوایی بر روی منطقه مورد مطالعه و جنوب کشور می‌باشد که باعث تشدید جریان همگرایی در وردسپهر شده و با حرکت سوبسیدانسی خود، سبب ریزش هوای جوّ بالا به سطح زمین و ایجاد هوایی پایدار شده است. این در حالی است که در این ترازها، شرایط به لحاظ دینامیکی برای صعود هوا و ایجاد بارش فراهم نبود. در ترازهای ٨٥٠، ٩٢٥ و ١٠٠٠ هکتوپاسکال، مراکز تاوایی منفی به ناحیه جنوبی ایران عقب‌نشینی کرده و در نتیجه، منطقه مورد مطالعه از تاوایی منفی خارج شده است. منحنی صفر تاوایی در ترازهای سه گانه بالا بر روی منطقه مورد مطالعه استقرار پیدا کرده‌اند. البته در تمامی ترازهای یاد شده، مناطق دارای تاوایی

منفی توسط جریان‌های مثبت تاوایی در نواحی مختلف محصور بوده و در نتیجه، باعث کاهش شدت و اثـرات آنهـا و در نتیجه باعث تضعیف تاوایی منفی شده و عقب‌نشینی آن را به دنبال داشته است. از طرفی دیگر، این حالت، تقویت تـاوایی مثبت و جریان واگرایانه و صعودی را در ترازهای نزدیک سطح زمین نیز به دنبال داشته و شـرایط را بـرای وقـوع بـارش سنگین و نیمه‌سنگین فراهم نموده است.



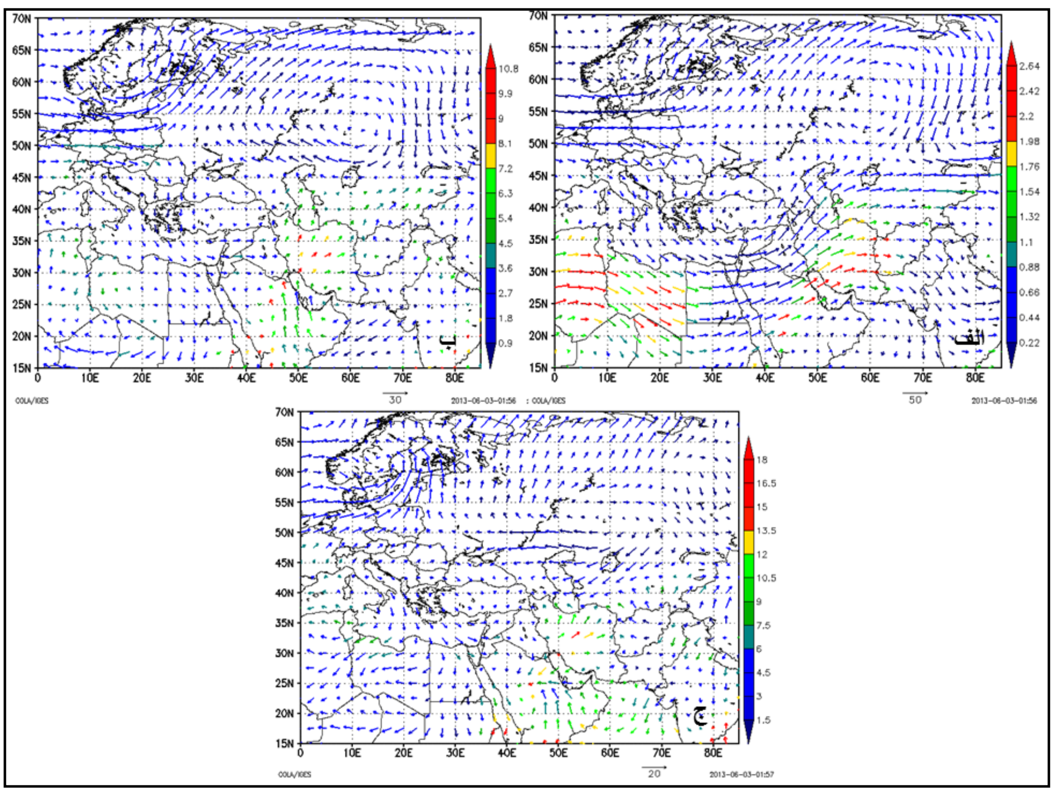
شکل ۷ نقشه تاوایی ترازهای الف: ۵۰۰، ب: ۸۵۰، ج: ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند ۱۳۸۹

منابع رطوبتی بارش

نقشه وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نشان دهنده نقش ویژه تغذیه رطوبتی این بارش سنگین توسط دریای سرخ، مدیترانه و خلیج فارس می‌باشد. در درجه اول، دریای سرخ و سپس دریای مدیترانه و خلـیج فـارس تـأمین کننـده رطوبت این بارش سنگین می‌باشند. رطوبت حمل شده از روی دریای سرخ، پس از عبور از روی خلیج فارس و تغذیـه دو چندان، وارد ایران و منطقه جنوب غرب می‌گردد. همچنین قسمتی از رطوبت موجود بر روی دریای مدیترانه نیز بعد از عبور از روی دریای سرخ، وارد ایران و منطقه غرب و شمال غرب ایران می‌شود. در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال نیـز وضـعیت

بدین منوال می‌باشد؛ با این تفاوت که نقش تغذیه رطوبتی خلیج فارس بیشتر شده و رطوبت بیشتری از این طریق وارد منطقه مورد مطالعه می‌گردد. نقش تغذیه رطوبتی دریای مدیترانه و دریای سرخ نیز همانند تراز ٥٠٠ هکتوپاسکال است.

در تراز ٧٠٠ هکتوپاسکال، ترکیب رطوبت منابع رطوبتی که در بارش سنگین سهیم بوده‌اند، افزایش پیدا می‌کند؛ به طوری که رطوبت موجود بر روی دریای مدیترانه به مقدار بیشتری با رطوبت دریای سرخ ترکیب شده و وارد ایران می‌گردد. همچنین رطوبت دریای سرخ نیز بعد از عبور از خلیج فارس و تغذیه دو چندان وارد کشور می‌شود. در این تراز، نقش خلیج فارس در تغذیه رطوبتی بارش سنگین یاسوج خیلی بیشتر شده است؛ به طوری که مقدار رطوبت بیشتری از این طریق وارد منطقه مورد مطالعه می‌گردد. در این تراز، یک همگرایی رطوبتی نیز بر روی دریای عمان شکل گرفته که رطوبت موجود بر روی این دریا را با رطوبت موجود بر روی دریای عرب وخلیج فارس ترکیب کرده و وارد ایران می‌کند. این مسأله، سبب تغذیه رطوبتی دو چندان این بارش سنگین شده است. در این تراز جوی، دریای سیاه هم نقش اندکی در فراهم نمودن رطوبت این روز بارشی بازی می‌کند. با وجود همگرایی رطوبتی شکل گرفته بر روی دریای سیاه، مقداری رطوبت از این طریق وارد شمال غرب ایران شده است.



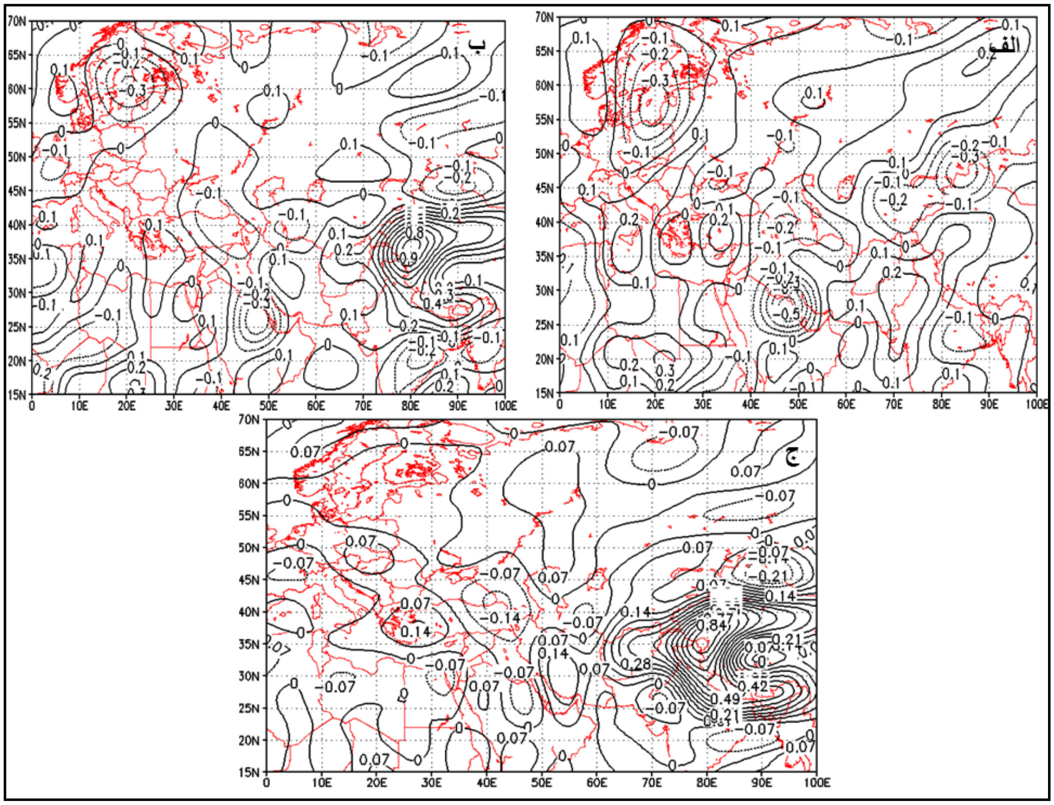
شکل٨ نقشه وزش رطوبتی ترازهای الف: ٥٠٠، ب: ٨٥٠، ج: ١٠٠٠هکتوپاسکال ساعت ٣:٣٠ روز ٢٠ اسفند ١٣٨٩

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، اثری از نقش دریای سرخ در تأمین رطوبت بارش منطقه دیـده نمـی‌شـود. در ایـن تـراز جوی، دریای سیاه، مدیترانه، خلیج عمان، دریای عمان و خلیج فارس نقش ویژه‌ای در تغذیه و تأمین رطوبتی این بارش سنگین بازی می‌کند؛ به طوری که رطوبت موجود بر روی دریای عرب بعد از گذر از روی خلیج فارس وارد ایران می-گردد. یک وزش رطوبتی که منشاء آن از بخش شمال شرق پاکستان شروع می‌شود بعد از گذر از هندوستان وارد دریای عمان شده و بعد از عبور از روی دریای عرب وارد خلیج فارس گردیده و دو چندان تغذیه شـده و از ایـن طریـق وارد ایران می‌شود. همچنین همگرایی رطوبتی شکل گرفته بر روی تنگه هرمز بعد از ترکیب رطـوبتی خلـیج عمـان، دریـای عمان، دریای عرب و خلیج فارس، باعث انتقال رطوبت به مناطقی از ایران می‌گردد. همچنین رطوبت مدیترانـه هـم بـه صورت مستقیم و هم بعد از عبور رطوبت موجود بر روی دریای سیاه از روی مدیترانه وارد مناطق غرب و شمال غرب کشور شده و به تغذیه رطوبتی این بارش سنگین کمک می‌کند.

در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال، دو منبع رطوبتی مدیترانه و خلیج فارس تأمین کننده رطوبت این بارش سنگین بـوده-اند. رطوبت مدیترانه بعد از عبور از روی سوریه و عراق و رطوبت خلیج فارس به صورت مستقیم وارد ایران شـده‌انـد؛ بنابراین در این تراز، در درجه اول، خلیج فارس در تأمین رطوبت این روز بارشـی نقـش ایفـا مـی‌کنـد. در تـراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نیز فقط یک منبع رطوبتی، تأمین کننده رطوبت این بارش می‌باشد که آن هم دریای مدیترانه است.

نقش حرکات قائم هوا در وقوع بارش سنگین

نقشه حرکات قائم هوا در جوّ در تراز ۵۰۰ ، ٦۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال حاکی از وجود یک هسته منفی سرعت قـائم هوا و یا به عبارتی صعود هوا یا بالاسو بودن هوا در جوّ در قسمت منتهی‌الیه شمال شرق عربستان می‌باشد که اثـرات آن تا جنوب غرب ایران کشیده شده است. در ترازهای ۵۰۰ و ٦۰۰ هکتوپاسکال، شدت این حرکـت قـائم بیشـتر بـوده و مقدار آن به ۰/۲– و ۰/۱– پاسکال بر ثانیه بر روی منطقه یاسوج می‌رسد، ولی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، شاهد عقـب-نشینی تدریجی مقدار امگا از روی منطقه مورد مطالعه هستیم. این مقادیر منفی امگا، باعث صعود دینامیکی هـوا در ایـن ترازهای جوّی شده و تقویت جریان همرفتی منجر به بارش را به دنبال داشته اسـت. بـه دنبـال ایـن فرآینـد، بـر میـزان ناپایداری‌ها افزوده شده و شرایط کژفشاری تقویت شده است که نتیجه آن، ایجاد هـوای منقلـب بـر روی منطقـه مـورد مطالعه شده و رخداد بارش سنگین در این ناحیه شده است. در ترازهای نزدیـک سـطح زمـین (ترازهـای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال)، به واسطه استقرار بلوکینگ امگایی شکل با هسته سرد، مقادیر مثبت امگا بر کل ایـران حـاکم شـده است. بدیهی است در صورت رخداد بلوکینگ با هسته سرد، نباید انتظار مقادیر منفی حرکات قائم هـوا در یـک مقیـاس کلان را داشت. به واسطه همین مکانیزم، در این ترازها شرایط برای صعود هوا مهّیا نبوده و حاکمیت جریان نزولی هوا و پایین سوی جوّ در این ترازها سبب تقویت واگرایی شده است.



شکل۹ نقشه حرکت قائم هوا در ترازهای الف: ۵۰۰، ب: ۸۵۰ ج: ۱۰۰۰هکتوپاسکال ساعت ۳:۳۰ روز ۲۰ اسفند سال ۱۳۸۹

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، بارش سنگین ۹۹/۵ میلی‌متری یاسوج در تاریخ ۲۰ اسفند ۸۹ برابر با ۱۱ مارس ۲۰۱۱ از دیدگاه سینوپتیک و دینامیک مورد بررسی قرار گرفته است. این بارش سنگین، از یک روز قبل، یعنی ۸۹/۱۲/۱۹ شروع و تا ۸۹/۱۲/۲۳ ادامه داشته و بیشترین مقدار بارش رخ داده در روز بیستم بوده است. نتایج بررسی‌های سینوپتیکی نشان می‌دهد که در زمان رخداد بارش سنگین یاسوج، پرفشارهای قوی بر روی سیبری، شمال شرق پاکستان، غرب و مرکز چین مستقر شده و کم‌فشارهایی هم بر روی ایسلند، سودان و جنوب شرق هند استقرار داشته‌اند. گرادیان فشار حاصل شده بین این مناطق پرفشار و کم‌فشار که ایران و منطقه مورد مطالعه در حد واسط این مناطق قرار دارد، شدیداً هوای منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده و بارش سنگین را به دنبال داشته است. تحلیل نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در روز بارش حاکی از وجود بلوکینگ امگایی شکل بر روی سیبری می‌باشد. بلوکینگ امگایی شکل تشکیل شده بر روی سیبری باعث تشکیل ناوه عمیقی در قسمت شرق‌سوی بلوکینگ شده که فرودهای آن، شمال غرب، غرب و جنوب غرب ایران را متأثر ساخته است. در روز بارش، ضخامت جو بر روی منطقه مورد مطالعه زیاد بوده و بلوکینگ امگایی شکل

تشکیل شده بر روی سیبری کاملاً نمایان می‌باشد. تحلیل نقشه‌های رودباد ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال، نشان دهنده استقرار رودباد بسیار قوی جبهه قطبی با ضخامت زیاد بر روی ایران و منطقه مورد مطالعه می‌باشد که شدّت ناهنجاری‌های جوّی را دو چندان کرده است. در ترازهای ۵۰۰، ٦۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، دریای سرخ، مدیترانه و خلیج فارس و در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، دریای مدیترانه و خلیج فارس بیشترین نقش را در تأمین رطوبتی این بارش سنگین ایفا نموده‌اند. در زمان رخداد بارش سنگین، در تمامی ترازهای ذکر شده، مقادیر پیچانه منفی بوده و شرایط کژ فشاری قوی بر روی ایران و منطقه مورد مطالعه حاکم بوده است. تحلیل نقشه‌های امگا نشان می‌دهد که در ترازهای ۵۰۰ ، ٦۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، بخش‌هایی از جنوب و جنوب غرب ایران تحت تأثیر امگای منفی بوده و شرایط ناپایداری شدید در این ترازها حاکم بوده است. در اکثر ترازهای جوّی یاد شده، بر روی منطقه مورد مطالعه، مقدار تاوایی یا منفی بوده (که باعث تولید جریان سوبسیدانسی شده و همگرایی جوّی شده) و یا مقادیر تاوایی صفر بر روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. بر اساس پیشینه تحقیقاتی صورت گرفته در این نوشتار، نتایج به دست آمده در مقایسه با سایر پژوهش‌ها به گونه‌ای اثبات کننده نتایج حاصل شده آنها در این زمینه می‌باشد؛ پژوهش‌های صورت گرفته توسط امیدوار (۱۳۸۷)، مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹)، پرنده خوزانی و لشگری (۱۳۸۹)، کرمی و همکاران (۱۳۸۹)، گندمکار (۱۳۸۹)، که به ترتیب اشاره به نقش رطوبت حاصل شده از منابع آبی جنوبی کشور و مدیترانه، کشیده شدن رودبادهای تراز فوقانی جو تا سطح ۵۰۰ تا ٦۰۰ هکتوپاسکالی، نقش کم فشار سودانی و جریان همگرایی دریای سرخ، تقویت سامانه سیبری و ادغام آن با سامانه مدیترانه در ریزش بارش‌های سنگین نواحی جنوبی کشور دارند. در پژوهش صورت گرفته نیز مورد اثبات قرار گرفته و نتایج حاصل شده به نوعی منعکس کننده نتایج کسب شده توسط این محققان می‌باشد؛ به گونه‌ای که در این روز بارشی، پرفشار سیبری، کم فشار سودانی، رطوبت حاصل شده توسط دریای سرخ، مدیترانه و خلیج فارس، رودباد جبهه قطبی و کشیده شدن آن تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی نقش به سزایی در رخداد بارش سنگین یاسوج ایفا کرده‌اند. نقشه‌های ترسیم شده و مورد تحلیل قرار گرفته در این پژوهش می‌تواند کمک شایانی به محقّقین در مورد نحوه شکل‌گیری و عملکرد بارش‌های سنگین و مخاطرات آن‌ها نموده و ابزاری باشد تا بتوانند به صورت کاملاً دقیق، مکانیزم شکل‌گیری و عملکرد این مخاطره اقلیمی را شناسایی و در جهت مقابله با آن اقدام کنند.

منابع و مآخذ

امیدوار، کمال؛ ۱۳۸۷. بررسی سیلاب براساس موقعیت‌های سیستم‌های سینوپتیکی در استان یزد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۸۸ شماره مقاله ۷۲۷. صص ١٦٥–۱۳۷. اصفهان .

پرنده خوزانی، اکرم، لشکری، حسین؛ ۱۳۸۹. بررسی سینوپتیک سیستم‌های سیل زا در جنوب ایران. تحقیقات منابع آب ایران. سال ششم. شماره ۲. تابستان ۱۳۸۹. صص ۷۳–٦٦. تهران .

رضایی، پرویز؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدیدی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله. پـژوهش‌هـای جغرافیـایی طبیعـی. شـماره ٦٨. تابسـتان ۱۳۸۸. صص ۱۱۸–۱۰۵. تهران .

صمدی، زهرا؛ ۱۳۸٦. تحلیل سینوپتیکی بارش سیل‌زای پاییز سال ۱۳۸۲ سـاحل جنـوبی دریـای خـزر. مجلـه پژوهشـی دانشـگاه اصفهان، شماره ۲۷. سال ۱۳۸٦. صص ۹٤–۷۷. اصفهان .

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۸. اقلیم شناسی سینوپتیک. چاپ. تهران: انتشارات سمت

علیزاده، امین؛ ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.

عزیزی، قاسم، و صمدی، زهرا؛ ۱۳۸٦. تحلیل الگوی سـینوپتیکی ۲۸ مهرمـاه ۱۳۸۲ اسـتان‌هـای گـیلان و مازنـدران. پژوهشـهای جغرافیایی. شماره ٦۰. تابستان ۱۳۸٦. صص ٦۱–۷٤. تهران .

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۸۹. نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم. چاپ. تهران: انتشارات سها دانش

کاویانی، محمد رضا، و علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۸. مبانی آب و هواشناسی. تهران: انتشارات سمت

کرمی، فریبا، و همکاران؛ ۱۳۸۹. بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸٤ شهرستان پلدختر. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوم. شماره چهار. تابستان ۱۳۸۹. صص ۱۰٦–۹۹. نجف آباد .

گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۹. بررسی همدید بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. چشم انداز جغرافیایی. سال چهـارم. شـماره ۱۰. بهار ۱۳۸۹. صص ۱۵۷–۱٤۳. رشت .

لشگری، حسین، و همکاران؛ ۱۳۸٦. تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش‌های سیل‌زا در اسـتان گلسـتان. فصـلنامه مـدرس علـوم انسانی. دوره ۱۲. شماره ۲. تابستان ۱۳۸۷. صص ۲۱۱–۱۸۱. تهران .

مرادی، حمید رضا؛ ۱۳۸۳. پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها براساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر. پژوهش هـای جغرافیایی. شماره ۵۵. بهار ۱۳۸۵. صص ۱۳۱–۱۰۹. تهران .

مسعودیان، ابوالفضل؛ و محمدی، بختیار؛ ۱۳۸۹. تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با رخداد بارش‌های ابرسـنگین ایـران. تحقیقـات منابع آب ایران. سال هفتم. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۰. صص ۹۱–۸۱ تهران .

محمدی، بختیار، و مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید بارش‌هـای سـنگین ایـران(مطالعـه مـوردی: آبـان مـاه ۱۳۷۳). جغرافیا و توسعه. شماره ۱۹. پاییز ۱۳۸۹. صص ۷۰–٤۷. سیستان و بلوچستان .

یاراحمدی، داریوش، و مریانجی، زهرا؛ ۱۳۹۰. تحلیل الگوی دینامیکی و همدیدی بارش‌هـای سـنگین در جنـوب غـرب خـزر و غرب ایران (مطالعه موردی: بارش مورخه ۸۳/۸/۱٤). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷٦. تابستان ۱۳۹۰. صـص ۱۲۰–۱۰۵. تهران .

Charabi, Y., Al-Hatrushi, S., 2010. Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman. Atmospheric Research 95, 470-486

Hidalgo-Munoz, J.M., Argüeso, D., Gamiz-Fortis, S.R., Esteban-Parra, M.J., Castro-Diez, Y., 2011. Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. Journal of Hydrology 409, 497-511

Bocheva, L., Marinova, T., Simeonov, P., Gospodinov, I., Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria., 1961–2005. Atmospheric Research 93, 490-497.

Mastrangelo, D., Horvath, K., Riccio, A., Miglietta, M.M., 2011. Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. Atmospheric Research 100, 586-602

Norbiato, D., Borga, M., Sangati, M., Zanon, F.,2007. Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. Journal of Hydrology, 345, 149-166

Ramli, S., Tahir, W., 2011. Radar Hydrology: New Z/R Relationships for

Quantitative Precipitation Estimation in Klang River Basin, Malaysia. International Journal of Environmental Science and Development 351, 81-86.

Seibert, P., Frank, A., Formayer, H., 2007. Synoptic and regional patterns of

heavy precipitation in Austria. Theor. Appl. Climatol. 87, 139-153

Treble, P.C., Budd, W.F., Hope, P.K., Rustomji, P.K., 2005. Synoptic-scale climate patterns associated with rainfall d18O in southern Australia. Journal of Hydrology 302, 270-282

Twardosz, R., 2010. An analysis of diurnal variations of heavy hourly precipitation in Krakow using a classification of circulation types over southern Poland. Physics and Chemistry of the Earth 35, 456-46

www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalisis